

# Srovnání normativních požadavků pro stanovení minimální iniciační energie hořlavých prachů

## Comparison of Normative Requirements for Determination of the Minimum Ignition Energy of Combustible Dusts

Ing. Jana Havelková

Ing. Petr Lepík

VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství  
Lumírova 13, 700 30 Ostrava-Výškovice  
jana.havelkova@vsb.cz, petr.lepik@vsb.cz

### Abstrakt

Citlivost hořlavých prachů k iniciaci elektrickou jiskrou je charakterizována hodnotou minimální iniciační energie (MIE). Hodnota MIE je důležitou požárně-technickou charakteristikou prachu, na základě které je možné navrhnout vhodná bezpečnostní opatření. V České republice jsou platné dvě normy zabývající se stanovením MIE prachů, a to ČSN IEC 1241-2-3 a ČSN EN 13821, které se vzájemně liší. K měření MIE mohou být použita různá zkušební zařízení splňující podmínky příslušné normy. Příspěvek je zaměřen na srovnání těchto postupů a na popis zařízení, které se v praxi pro stanovení MIE hořlavých prachů používají.

### Klíčová slova

Minimální iniciační energie (MIE), hořlavý prach, Hartmannova trubice, normativní požadavky.

### Abstract

The sensitivity of combustible dusts to be ignited by electrical spark is characterized by value of minimum ignition energy (MIE). The value of MIE is an important fire-technical characteristic of dust according to which it is possible to optimise measures for explosion prevention. In the Czech Republic, there are two different valid standards dealing with MIE of dust determination, they are ČSN IEC 1241-2-3 and ČSN EN 13821. Various devices fulfilling normative requirements can be used for measuring MIE. The paper is focused on comparison of processes of MIE determination and describing the devices which are used for determining MIE of combustible dust in practice.

### Keywords

Minimum ignition energy (MIE), Combustible dust, Hartmann tube, Normative requirements.

### Úvod

Nebezpečí exploze může reálně hrozit všude tam, kde se manipuluje s hořlavými prášky nebo prachy. Hořlavé prachy mohou vytvářet kovy (hliník, hořčík), většina organických látek (cukr, mouka, plasty...) a mnohé nekovové anorganické látky (uhlí). Samostatnou kategorií tvoří látky, které se řadí mezi výbušniny (střelný prach). Naopak zástupci anorganických prášků představují účinná hasiva.

Výbuchy prachů mohou mít fatální následky, jako se tomu stalo v Imperial Sugar Company, USA, 2008, kde exploze cukerného prachu způsobila usmrcení 14 osob, zranění desítek dalších lidí a destrukci velké části rafinérie (CSB, 2009). Na obr. 1 je zachycen požár po explozi v Imperial Sugar Company.



Obr. 1 Následný požár po explozi v Imperial Sugar Company (Industrial Solutions, 2014)

V rámci ochrany vůči těmto explozím je nutná aplikace protivýbuchových opatření. Volba vhodného prvku protivýbuchové ochrany závisí na požárně-technických charakteristikách konkrétního prachu. Jednou z těchto charakteristik je minimální iniciační energie (MIE), která charakterizuje citlivost prachu k iniciaci elektrickou jiskrou. Je známo, že se v praxi vyskytují výboje statické elektřiny mající dostatečnou energii k iniciaci některých druhů prachů. Tab. 1 uvádí hodnoty MIE pro některé prachy. V tab. 2 jsou uvedeny přibližné hodnoty energií výbojů statické elektřiny, které mohou nastat u vybraných objektů. Z tabulek vyplývá, že statická elektřina může být účinným iniciačním zdrojem pro některé prachy.

Tab. 1 Hodnoty MIE pro některé druhy prachů (EXPLOSION TESTING, 2014), (Eckhoff, Randeberg, 2007)

Vzorek	MIE [mJ]
Uhelný prach	> 1000
Mouka	300 - 1000
Cukr	10 - 30
Hliníkové vločky	0,1

Tab. 2 Nahromaděná elektrická energie  $1/2 CU^2$  v neuzemněných objektech o různých kapacitách C, nabitých na různé napětí U (Eckhoff, Randeberg, 2007)

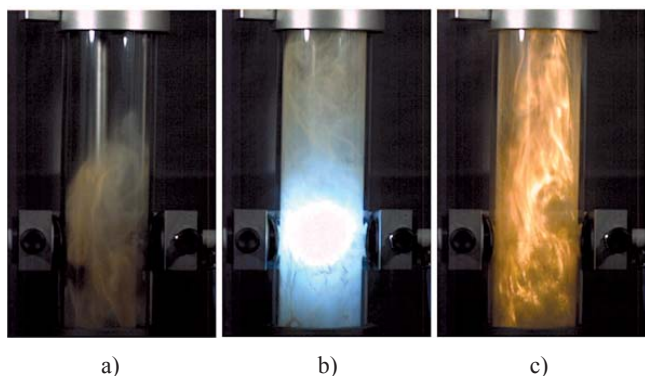
Nabitý objekt	Kapacita [pF]	Potenciál [kV]	Energie [mJ]*
Jeden šroub	1	5	0,01
Příruba, nominální šířka = 100 mm	10	10	0,5
Lopata	20	15	2
Malý kontejner (~50 l)	50	8	2
Násypka	50	15	6
Osoba	300	10	15
Buben (200 l)	200	20	40
Silniční cisterna	1000	15	100

\* přibližné hodnoty

Postup stanovení MIE definují dvě platné normy, ČSN IEC 1241-2-3 (ČNI, 1998) a ČSN EN 13821 (ČNI, 2005), které se vzájemně liší. Stručný rozbor a srovnání těchto norem je uveden v následující části příspěvku. Normy se rozcházejí i v doporučených měřicích zařízeních. Obě sice uvádí Hartmannovu trubici, ale starší z norem doporučuje také 20-ti litrové kulové zařízení. Kromě těchto jmenovaných zkušebních komor, lze MIE měřit i na jiných přístrojích, jestliže splňují normativní požadavky. Zařízení používaná v praxi budou dále detailněji popsána.

### Princip stanovení MIE hořlavých prachů

MIE hořlavého prachu je nejnižší elektrická energie, která je schopna za specifických podmínek iniciovat směs rozvířeného prachu ve vzduchu. Stanovení MIE vyžaduje pneumatically rozvíření prachu o stanovené navážce, která odpovídá teoretické koncentraci ve zkušebním zařízení. Vzniklá prachovzdušná směs je vystavena jiskrovému výboji z nabitého kondenzátoru, přičemž se vyhodnocuje, zda došlo ke vznícení či nikoli. Na obrázku jsou znázorněny fáze rozvíření, iniciace a následné šíření plamene v prachové disperzi (obr. 2).



Obr. 2 Průběh zkoušky: a) rozvíření, b) iniciace, c) následné šíření plamene v prachové disperzi

Výsledná hodnota MIE je ovlivněna několika faktory. Mezi hlavní z nich patří:

- Koncentrace prachovzdušné směsi - při optimální koncentraci je dostatečnou nižší iniciační energie, která je schopna vyvolat následné šíření plamene v oblaku prachu.
- Zpoždění mezi rozvířením prachu a přeskokem jiskry - zpoždění ovlivní vlastní přítomnost prachového oblaku v prostoru mezi elektrodami v době výboje a turbulenci směsi, přičemž je snahou docílit minimální úrovně turbulence.
- Rozvířovací podmínky - ovlivňují přítomnost prachového oblaku v prostoru mezi elektrodami v době výboje.
- Charakteristika jiskry - v závislosti na elektrickém obvodu mohou být vytvářeny jiskry o různých vlastnostech, závisí také na vzdálenosti elektrod.

MIE se stanovuje pro nejsnadněji zápalný mrak prachu, musí být tedy nalezena ideální koncentrace a stanoveny optimální parametry rozvíření. Zkouška se začíná s energií jiskry, která spolehlivě zapálí zkoušený prach, poté se energie snižuje, až je nalezena hodnota, při které nedojde ke vznícení. MIE pak leží v rozmezí hodnot nejvyšší energie, při které k zapálení nedošlo, a nejnižší energie, která dokázala zkoušenou směs iniciovat.

### Rozdíly v normativním stanovení MIE

Jak už bylo naznačeno výše, detaily v postupu stanovení MIE se liší v závislosti na normě, podle které se tato hodnota stanovuje. V dnešní době se preferuje novější norma ČSN EN 13821 (ČNI, 2005). Je však tento postup opravdu vhodnější? Kromě několika méně významných rozdílů se normy rozcházejí v následujících zásadních bodech:

- rozvířovací podmínky,
- definice vznícení,
- počet pokusů potřebných k usouzení, že nedošlo k iniciaci,
- systémy pro vytváření jisker.

K rozvířovacím podmínkám se řadí rozvířovací tlak a doba zpoždění iniciace, které společně ovlivňují výskyt prachového oblaku a turbulenci v místě a době výboje. Doba zpoždění se nastaví podle obou norem obdobně. Pro ideální koncentraci prachu se hledá doba zpoždění, při které lze dosáhnout nejnižších hodnot MIE. Neshoda nastává při definování rozvířovacího tlaku. Starší norma (ČNI, 1998) předpokládá, obdobně jako u doby zpoždění, hledání optimálního tlaku pro rozvíření. Naopak, novější norma (ČNI, 2005) se rozvířovacím tlakem obecně nezabývá. Pouze pro doporučenou modifikovanou Hartmannovu trubici je pevně stanovená hodnota rozvířovacího tlaku 7 barů.

Jednotná hodnota pro všechny typy prachů však může přinášet nepřesnosti měření, kdy především lehké prachy mohou být mylně hodnoceny jako nevýbušné nebo naměřená hodnota iniciační energie neodpovídá energii minimální.

V okamžiku, kdy jsou nalezeny optimální koncentrace a rozvířovací podmínky, rozhodujeme, zda došlo k zapálení vzorku. Definice vznícení se ve zmíněných normách liší. ČSN IEC 1241-2-3 (ČNI, 1998) uvádí přesné požadavky k identifikaci vznícení. Buď dojde k nárůstu tlaku o 0,2 bar při měření v uzavřené komoře (20 l koule) nebo je pozorován plamen alespoň 6 cm od místa jiskřiště při zkouškách v otevřené nádobě (skleněná Hartmannova trubice). Novější ČSN EN 13821 (ČNI, 2005) definuje vznícení volněji, jako šíření nepřerušovaného plamene od místa jiskrového výboje. Nepřesná definice může negativně ovlivnit výsledky měření vlivem špatného posouzení situace.

Nejvyšší energie, při které nedošlo k zapálení je potvrzena, nedojde-li k iniciaci vzorku při dvaceti po sobě jdoucích zkouškách, podle ČSN IEC (ČNI, 1998). Postup podle druhé normy vyžaduje pouze deset negativních zkoušek. Vzhledem k tomu, že se jedná o náhodný jev, znamená menší počet pokusů vyšší nejistotu měření.

Obě normy uvádí několik vhodných systémů pro tvorbu jisker. Shodují se v systémech „zapalování pomocnou jiskrou s použitím tříelektrodového systému“, „zapalování pohybem elektrod“, „zapalování pomocí zvyšování napětí (postupný nabíjecí obvod)“ a „zapalování transformátorem (dvouelektrodový systém)“. ČSN EN 13821 (ČNI, 2005) je doplněna o systém zapalování vysokonapěťovým relé (dvouelektrodový systém) vhodný pro velmi nízké energie jiskry (1 - 3 mJ).

### Zařízení pro měření MIE

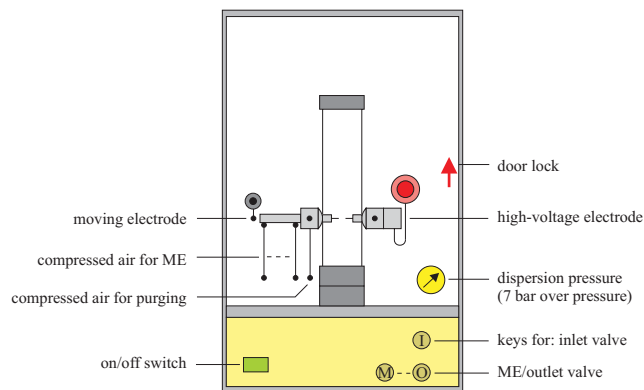
Pro měření MIE se nejčastěji používá Hartmannova trubice, resp. modifikovaná Hartmannova trubice, která je doporučována oběma normami. Kromě toho lze použít také jiná zařízení, která splňují normativní požadavky, např. kulový dvacetilitrový autokláv.

V české a mnoha zahraničních laboratořích se měří na přístroji MIKE 3 ze švýcarské dílny Kühner AG a na MIE-D 1.2 české společnosti OZM Research s.r.o. Tato dvě zařízení budou blíže specifikována. Zařízení pracující na podobném principu sestavila také britská společnost Chilworth Technology a polská společnost ANKO a další.

Testovací zařízení MIKE 3, postup měření a práce se softwarem je popsáno v manuálu (Cesana, Siwek, 2010). Zařízení je tvořeno modifikovanou skleněnou Hartmannovou trubicí o objemu 1,2 l, která slouží jako výbuchová nádoba. Rozvířovací systém je umístěn ve spodní části trubice a je tvořen tryskou hříbového tvaru. V horní části je ventilační otvor.

Jelikož je MIKE 3 sestaven v souladu s normou ČSN EN 13821 (ČNI, 2005), umožňuje disperzi naneseného vzorku pouze vzduchem pod tlakem 7 bar. Dobu zpoždění lze nastavit na 60 ms a po třiceti milisekundách až na 180 ms.

Pro vytvoření jiskry jsou aplikovány dva zapalovací systémy. Pro energie 10 mJ a výše se používá zapalování pohybem elektrod, pro nižší energie vysokonapěťové relé. Samotné elektrody o průměru 2 mm jsou vyrobeny z wolframu nebo z nerezové oceli. Mezera mezi elektrodami musí být alespoň 6 mm. Je možné zvolit měření bez indukčnosti nebo s indukčností 1 mH, což zvyšuje průraznost jiskry a tím snižuje výslednou hodnotu MIE.



Obr. 3 Náčrta a popis zařízení MIKE 3 (Cesana, Siwek, 2010)

Přístroje MIE-D 1.2 (Janovský, 2012) a MIKE 3 jsou zařízení pracující na podobném principu. Rovněž se jedná o modifikovanou Hartmannovu trubici o stejném objemu, se stejnou rozvířovací tryskou a se shodnými obvody pro tvorbu jisker. Zařízení MIE-D 1.2 je znázorněno na obr. 4a) v otevřeném stavu. Zařízení MIE-D 1.2 a MIKE 3 se liší provedením a dodávaným softwarem.

Dobu zpoždění lze nastavit na 0 ms a navyšovat po 30 ms. Po poslední úpravě přístroje je možné volit rozvířovací tlaky až do maximální hodnoty 10 barů. Součástí MIE-D 1.2 je ovládací dotykový panel, který uživateli usnadňuje práci s přístrojem. Obr. 4b) prezentuje základní obrazovku ovládacího panelu.

Do budoucna jsou plánovány další funkční nástavby přístroje.



Obr. 4 Zařízení MIE-D 1.2: a) zkušební komora v otevřeném stavu, b) dotykový ovládací panel (Janovský, 2012)

## Závěr

Znalost minimální iniciační energie prachu je důležitá k ohodnocení citlivosti dané látky k iniciaci elektrickou energií. V závislosti na hodnotě MIE se posuzuje účinnost iniciačních zdrojů vůči konkrétnímu prachu. Postupem stanovení MIE prachů se zabývají dvě normy, které byly srovnávány.

Po celkovém zhodnocení obou norem zabývajícím se postupem stanovení minimální iniciační energie (MIE) lze usoudit, že starší norma ČSN IEC 1241-2-3 (ČNI, 1998) se jeví jako preciznější a sofistikovanější. Zatímco postupem podle novější ČSN EN 13821 (ČNI, 2005) se dojde k méně přesnému výsledku, ale je méně náročná na čas, na množství potřebného vzorku a tím i na finance. Další výhodou této normy je uvedení zapalovacího systému pro velmi nízké energie v rozsahu 1 - 3 mJ.

Pro stanovení MIE se nejčastěji používají zařízení založená na principu Hartmannovy trubice, je však možné použít i jiná vhodná zařízení. Byly popsány a porovnány dva přístroje, MIKE 3 a MIE-D 1.2, přičemž oba splňují podmínky normy ČSN EN 13821 (ČNI, 2005). Vývoj těchto zařízení jde stále kupředu a jsou očekávány inovace.

## Použitá literatura

- [1] Cesana, Ch.; Siwek, R. 2010.: *MIKE 3, Manual, B02\_071*. Birsfelden: Kühner AG.
- [2] CSB, 2009.: *INVESTIGATION REPORT: Sugar Dust Explosion and Fire (14 Killed, 36 Injured)*. In U. S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: [http://www.csb.gov/assets/1/19/imperial\\_sugar\\_report\\_final\\_updated.pdf](http://www.csb.gov/assets/1/19/imperial_sugar_report_final_updated.pdf).
- [3] ČNI, 1998.: *ČSN IEC 1241-2-3. Elektrická zařízení pro prostory s hořlavým prachem - Část 2: Metody zkoušek - Oddíl 3: Metoda stanovení minimální iniciační energie vznícení rozvířeného prachu*. Praha: Český normalizační institut (ČNI).
- [4] ČNI, 2005.: *ČSN EN 13821 Prostředí s nebezpečím výbuchu - Prevence a ochrana proti výbuchu - Stanovení minimální zápalné energie směsi prachu se vzduchem*. Praha: Český normalizační institut (ČNI).
- [5] Eckhoff, R.K.; Randeberg, E. 2007.: Electrostatic spark ignition of sensitive dust clouds of MIE<1 mJ. *JOURNAL OF LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES*. Svazek 20. Strany 396 - 401.
- [6] EXPLOSION TESTING, 2014.: *Example test results*. [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: [http://www.explosiontesting.co.uk/mie\\_15.html](http://www.explosiontesting.co.uk/mie_15.html).
- [7] Industrial Solutions, 2014.: *Imperial-sugar-dust-explosion*. In [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.industrialairsolutions.com/industrial-vacuums/images/imperial-sugar-dust-explosion.jpg>.
- [8] Janovský, B. 2012.: *MIE-D 1.2, přístroje pro stanovení minimální iniciační energie prachových disperzí, MANUÁL*. Hrochův Týnec: OZM Research s.r.o.